

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-270596  
 (43)Date of publication of application : 20.09.2002

(51)Int.CI.

H01L 21/31  
 C23C 14/54  
 C23C 16/52  
 H01L 21/66

(21)Application number : 2001-068962

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 12.03.2001

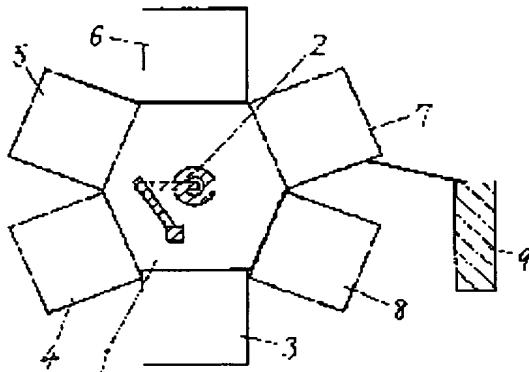
(72)Inventor : HARADA YOSHIHISA  
 SUGIHARA KOHEI  
 MATSUNAGA TOSHIYUKI

## (54) APPARATUS FOR FABRICATING SEMICONDUCTOR DEVICE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To manage the characteristics of a semiconductor substrate in the fabrication process using a fabrication apparatus clustered in an environment isolated from the atmosphere and the thickness of a film formed thereon on the interface, in the film and on the surface.

**SOLUTION:** In the arrangement of a clustered fabrication apparatus of semiconductor, a housing 1 isolated from the atmosphere and filled with a pressure reduced or dried high purity nitrogen gas includes an arm robot 2 for carrying a wafer. It is coupled with a chamber 3 for introducing a sample, a gate precleaning chamber 4, a lamp heating or electrical heating gate oxidation furnace 5, a gate deposition furnace 6 by CVD, a physical analysis chamber 7, and a gate electrode deposition furnace 8 by CVD, wherein the physical analysis chamber 7 is coupled with a spectrum analyzer 9. Since the wafer surface is not oxidized through exposure to the atmosphere and the state of the wafer surface can be physically evaluated and monitored, a peculiar fabrication process can be managed.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-270596

(P2002-270596A)

(43)公開日 平成14年9月20日 (2002.9.20)

(51) Int.Cl.  
 H 01 L 21/31  
 C 23 C 14/54  
     16/52  
 H 01 L 21/66

識別記号

F I  
 H 01 L 21/31  
 C 23 C 14/54  
     16/52  
 H 01 L 21/66

テ-マゴト<sup>®</sup> (参考)  
 B 4 K 0 2 9  
 C 4 K 0 3 0  
 4 M 1 0 6  
 P 5 F 0 4 5

審査請求 未請求 請求項の数16 OL (全 10 頁)

(21)出願番号 特願2001-68962(P2001-68962)

(22)出願日 平成13年3月12日 (2001.3.12)

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社  
大阪府門真市大字門真1006番地(72)発明者 原田 佳尚  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内(72)発明者 杉原 康平  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内(74)代理人 100097445  
弁理士 岩橋 文雄 (外2名)

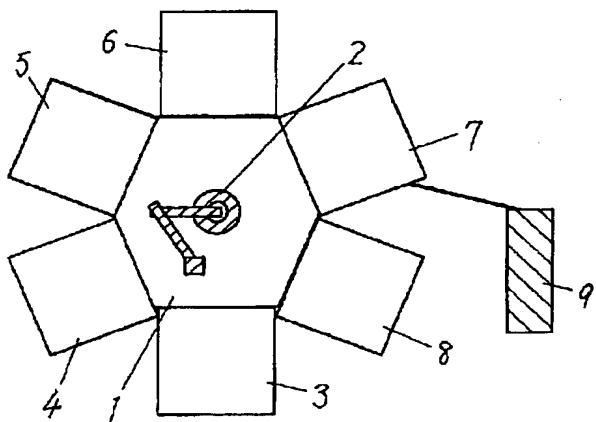
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体装置の製造装置

## (57)【要約】

【課題】 大気と絶縁された雰囲気でクラスターリングされた製造装置を用いた製造工程における半導体基板と、その上に形成された膜の界面、膜中、表面及び膜厚の特性管理に関する。

【解決手段】 クラスターリングされた半導体製造装置の構成において、大気と遮断された減圧もしくは、乾燥した高純度窒素ガスにより満たされた筐体1は、ウエハ搬送用アームロボット2を含む。サンプル導入用のイントロ室3、ゲート前洗浄室4、ランプ加熱式または電気加熱式のゲート酸化炉5、化学気相蒸着法等によるゲート堆積炉6、物理分析室7、化学気相蒸着等によるゲート電極堆積室8と接続され、上記物理分析室7はスペクトル解析装置9と繋がっている。ウエハ表面が大気暴露などにより酸化されず、一連の処理の途中でウエハ表面状態を物理評価モニタリングでき、特異な製造工程の管理が可能となる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の処理室を含む空間を、大気から遮断した雰囲気に維持するように取り囲む共通容器と、上記共通容器内でウエハを搬送するための搬送手段と、上記共通容器内のいづれかの部位にウエハを設置した状態で、上記ウエハの表面状態をエリプソメトリー法により膜厚評価するための手段とを備えてクラスタリングされていることを特徴とする半導体装置の製造装置。

【請求項2】 複数の処理室を含む空間を、大気から遮断した雰囲気に維持するように取り囲む共通容器と、上記共通容器内でウエハを搬送するための搬送手段と、上記共通容器内もしくは特定の処理室のいづれかの部位にウエハを設置した状態で、上記ウエハの表面状態をX線を使用して膜厚評価するための手段とを備えてクラスタリングされていることを特徴とする半導体装置の製造装置。  
10

【請求項3】 複数の処理室を含む空間を、大気から遮断した雰囲気に維持するように取り囲む共通容器と、上記共通容器内でウエハを搬送するための搬送手段と、上記共通容器内もしくは特定の処理室のいづれかの部位にウエハを設置した状態で、上記ウエハの表面状態をX線を使用してX線反射率を評価するための手段とを備えてクラスタリングされていることを特徴とする半導体装置の製造装置。

【請求項4】 複数の処理室を含む空間を、大気から遮断した雰囲気に維持するように取り囲む共通容器と、上記共通容器内でウエハを搬送するための搬送手段と、上記共通容器内もしくは特定の処理室のいづれかの部位にウエハを設置した状態で、上記ウエハの上の膜の密度を評価するための手段とを備えてクラスタリングされていることを特徴とする半導体装置の製造装置。

【請求項5】 複数の処理室を含む空間を、大気から遮断した雰囲気に維持するように取り囲む共通容器と、上記共通容器内でウエハを搬送するための搬送手段と、上記共通容器内もしくは特定の処理室のいづれかの部位にウエハを設置した状態で、上記ウエハの上の膜の密度と同時にラフネスを評価するための手段とを備えてクラスタリングされていることを特徴とする半導体装置の製造装置。  
20

【請求項6】 複数の処理室を含む空間を、大気から遮断した雰囲気に維持するように取り囲む共通容器と、上記共通容器内でウエハを搬送するための搬送手段と、上記共通容器内もしくは特定の処理室のいづれかの部位にウエハを設置した状態で、上記ウエハの上の膜と基板の間のラフネスを評価するための手段とを備えてクラスタリングされていることを特徴とする半導体装置の製造装置。  
30

【請求項7】 複数の処理室を含む空間を、大気から遮断した雰囲気に維持するように取り囲む共通容器と、上記共通容器内でウエハを搬送するための搬送手段と、上  
40

記共通容器内もしくは特定の処理室のいづれかの部位にウエハを設置した状態で、上記ウエハの上の膜の組成を評価するための手段とを備えてクラスタリングされていることを特徴とする半導体装置の製造装置。

【請求項8】 シリコン基板と酸化膜界面のラフネスを、シリコンサブオキサイド組成から求めることを特徴としたラフネス評価方法。

【請求項9】 請求項1～7のうちいづれか1つに記載の半導体装置の製造装置において、請求項7記載のラフネス評価方法を用いた分析室を備えたことを特徴とした半導体装置の製造装置。  
10

【請求項10】 X線反射率測定において、入射X線側のスリット幅を測定中に変化させることを特徴とするX線強度測定方法。

【請求項11】 請求項1～7のうちいづれか1つに記載の半導体装置の製造装置において、請求項10記載のX線強度測定方法を用いた分析室を備えたことを特徴とした半導体装置の製造装置。  
20

【請求項12】 X線反射率測定において、反射X線側のスリット幅を測定中に変化させることを特徴とするX線強度測定方法。  
20

【請求項13】 請求項1～7のうちいづれか1つに記載の半導体装置の製造装置において、請求項10または12記載のX線強度測定方法を用いた分析室を備えたことを特徴とした半導体装置の製造装置。  
30

【請求項14】 X線反射率測定において、入射X線側のスリット幅と反射X線側のスリット幅とを測定中に変化させることを特徴とするX線強度測定方法。

【請求項15】 請求項1～7のうちいづれか1つに記載の半導体装置の製造装置において、請求項10、12または14記載のX線強度測定方法を用いた分析室を備えたことを特徴とした半導体装置の製造装置。  
30

【請求項16】 X線反射率測定において、入射X線側のスリット幅と反射X線側のスリット幅を変化させる駆動部分を兼ね備えたことを特徴とするX線強度測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体装置の製造装置及びその製造方法に関わり、特に大気とは絶縁された雰囲気でクラスタリングされた製造装置を用いた製造工程中における半導体基板とその上に形成された膜の界面および膜中および表面及び膜厚の特性管理に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】近年、微細化する半導体デバイスには、異種の元素・化合物・材料が多層に積み重なり複雑な構造を示しており、多数の界面から成り立っている。特に、MOSデバイスの重要な構成要素であるゲート絶縁膜については、その薄膜化が加速しており良好な特性を有する絶縁膜の実現が切望されている。その膜厚の管理、  
50

(3)

特開2002-270596

3

その界面のラフネス評価、膜中の組成評価等がトランジスタの電気特性に大きく影響することが近年報告されており、これら物性値を評価し管理する手法が切望されている。ゲート前洗浄とゲート絶縁膜形成と電極形成の一連の工程を大気に暴露することなく、大気に起因する汚染物質の付着等を防止しようとするクラスターリング製造装置については報告されている (Schuegrafら、IEEE/International Reliability and Physics Symposium 1997、p 7~11)。このクラスターリングされた製造装置を用いた製造プロセスによって欠陥密度の低いゲート絶縁膜が得られることが検証されており、特に、膜厚が4nm以下にまで薄膜化されたゲート絶縁膜の形成工程では、クラスターリングされた製造装置を使用することが望ましい。

【0003】さらに、以下図面を参照しながら、上記した従来のクラスターリングされた製造装置の一例について説明する。

【0004】従来、クラスターリングされた製造装置は特開2000-236021号に記載されたものが知られている。図2は従来のクラスターリングされた製造装置の概略図を示すものである。図2において、10はロードロックチャンバーモジュールである。移動モジュール11は、ロードロックチャンバーモジュール10と、ドライ洗浄モジュール12と、蒸着モジュール13、14、15と接続されており、真空或いは不活性ガス雰囲気に維持されたガスによりこれらすべてのモジュール10、11、12、13、14、15は、満たされている。以上のように構成されたクラスターリングされた製造装置について、以下その動作について説明する。

【0005】装置外にある半導体基板は、ロードロックチャンバーモジュール10に設置され、真空引き後、真空雰囲気を維持されるか、または、不活性ガスにより充満される。その後、ロボットアーム16により裏面から真空引きにより固定され、移動モジュール11を通し、ドライ洗浄モジュール12に搬送される。前述したドライ洗浄段階をドライ洗浄モジュール12のチャンバーで行った後、前述した移動モジュール11のチャンバーに連結された蒸着モジュール13のチャンバーに半導体基板を移動させ、所望の膜種を蒸着する。順次、蒸着モジュール13から、次の蒸着モジュール14へ、さらに次の蒸着モジュール15へ移動され、所望の膜種を蒸着する。このとき、移動モジュール11を介して半導体基板が移動され、この移動モジュール11は真空或いは不活性ガス雰囲気に維持されるので、半導体基板は、大気による汚染源に露出されずに、また大気中の酸化雰囲気などの酸化条件に露出されずに済む。すなわち、このように、ドライ洗浄段階から真空または管理された不活性ガス中で移動しながら、順次膜形成をすることにより、ドライ洗浄された半導体基板が、再汚染されることが防止される。

【0006】蒸着モジュール13、14、15は、通常の枚葉式化学気相蒸着システムやスパッタリングシステムなどであり、複数個を設置することにより大気に暴露することなく多種類の膜を形成することができる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記のような構成においては、MOSデバイス中のゲート絶縁膜の特性管理は、従来、MOSキャパシタあるいはトランジスタ等の素子を形成しそれらの素子の電気特性を解析することにより行われている。ゲート絶縁膜の形成工程でトラブルが発生した場合には、MOSキャパシタを形成した後にその電気特性を評価することにより、そのトラブルの存在を発見し、その後、トラブル解決を行う手順となる。このため、トラブルが発見されるまでの期間不良デバイスを多量に生産することになり生産効率の低下を招いているという問題点を有していた。

【0008】また、上記のような構成において、シリコン基板と酸化膜との界面のラフネスを評価する時に、高分解能の断面TEM観察手法では、酸化膜上にポリシリコン等を堆積した後、観察用に数十ナノメートルの薄膜に研磨ミリングをする必要があるので、数十時間の観察用サンプル作成の時間が必要であり、スループットの低下という問題点を有していた。また、酸化膜の希フッ酸ケミカルエッチングの工程によりシリコン表面を露出させ、AFM（原子間力顕微鏡）でラフネスを評価する手法では、破壊検査であり完全に界面が保存されているか確認できず、不正確な界面ラフネス測定であるという問題点を有していた。

【0009】また、上記のような構成において、酸化膜の膜厚を評価する時には、一度チャンバーから取り出し、大気中で搬送して、エリプソメトリー分光により形成後の酸化膜厚を測定し、膜厚管理を行っており、大気に暴露することにより表面にカーボンや水分が吸着し正確な膜厚を測定できないという問題を有していた。また、高分解能の断面TEM観察手法により、膜厚を測定する場合は、所要時間が数十時間もかかるとスループットが悪いという問題を有していた。

【0010】また、上記のような構成において、酸化膜の膜厚を評価する時には、一度チャンバーから取り出し、大気中で搬送して、SIMS測定やXPS測定により形成後の組成を測定し、組成管理を行っており、大気に暴露することにより表面にカーボンや水分が吸着し組成を測定できないという問題を有していた。

【0011】本発明は、クラスターリング装置において大気と断絶された環境において、逐次、膜厚、組成、密度、界面ラフネス等を測定し管理するシステムを有する製造する半導体製造装置を提供することを第1の目的とする。

【0012】本発明は、大気と断絶された環境のクラスターリング半導体製造装置内において、短時間に、非破壊

4

で、正確に、原子レベルで、結晶基板との界面ラフネスを測定する高スループット製造手法を提供することを第2の目的とする。

【0013】本発明は、大気と遮断された環境のクラスターリング半導体製造装置内において、短時間に、非破壊で、正確に、膜厚を測定する手法を提供することを第3の目的とする。

【0014】本発明は、非破壊測定でかつ、高精度に、プロセスフィードバックを可能にする組成測定方法を提供することを第4の目的とする。

#### 【0015】

【課題を解決するための手段】上記問題点を解決するために本発明の半導体製造手法は、複数の処理室と、この複数の処理室を含む空間を大気から遮断した雰囲気に維持するように取り囲む共通容器と、上記共通容器内でウエハを搬送するための搬送手段と、上記共通容器内のいずれかの部位に、ウエハを設置した状態で、ウエハ表面を物理分析評価するための手段を備えた構成のクラスターリングされた装置である。

#### 【0016】

【発明の実施の形態】以下本発明の実施の形態について、図1と図3を参照しながら説明する。

【0017】(第1の実施形態) 図1は本発明の第1の実施の形態についてクラスターリングされた半導体製造装置の構成の模式図を示すものである。図1において、大気と遮断された減圧もしくは、乾燥した高純度窒素ガスにより満たされた筐体1は、ウエハ搬送用アームロボット2を含み、サンプル導入用のイントロ室3、ゲート前洗浄室4、ランプ加熱式の高速酸化または、電気加熱式の縦型か横型のゲート酸化炉5、化学気相蒸着かスペッタリング法によるゲート堆積炉6、物理分析室7、化学気相蒸着かスペッタリング法によるゲート電極堆積室8と接続され、上記物理分析室7はスペクトル解析装置9と繋がっている。

【0018】以上のように構成された半導体製造装置について、以下(図1)を用いてその動作を説明する。

【0019】処理用ウエハは、イントロ室に設置され、クリーンルーム大気は真空引きされ減圧にされる。その後、減圧のまま、もしくは、乾燥窒素中にウエハ搬送用アームロボット2によって、ゲート前洗浄室4に搬送される。このゲート前洗浄室4において、アンモニアと過酸化水素水の混合水(通常SC-1洗浄)により洗浄されその後希フッ酸によりケミカルオキサイド除去後、水洗時イソプロピルアルコール蒸気により瞬時に乾燥される。または、このゲート前洗浄室4において、アンモニアと過酸化水素水の混合水(通常SC-1洗浄)により洗浄され、その後、希フッ酸によりケミカルオキサイド除去後、紫外光UVと塩素ガスによる金属除去をするドライ洗浄を行う場合もある。以上のような洗浄後、真空引きされ、ゲート酸化炉5に搬送される。

【0020】このゲート酸化炉5において、ハロゲンランプ等での高速加熱酸化を酸素ガスや窒素ガスやN<sub>2</sub>OガスやNOガスやアンモニアガスやO<sub>3</sub>やその他絶縁膜形成ガス中において行い、絶縁膜を形成する。この後、ゲート堆積炉6に搬送される。ゲート酸化炉5で処理を行わずに、ゲート前洗浄後から直接ゲート堆積炉6に搬送される場合もある。

【0021】このゲート堆積炉6において、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>やTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>やAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やHfO<sub>2</sub>やZrO<sub>2</sub>やLa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やPr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>や、これらのシリケイト酸化膜や、その他の絶縁膜をスペッタリング等のPVD(物理気相蒸着法)や、メタル有機ガス中のCVD(化学気相蒸着法)等で堆積ゲート絶縁膜を堆積する。場合により、ゲート堆積炉6中やゲート酸化炉5中に再度搬送して、N<sub>2</sub>やO<sub>2</sub>やO<sub>3</sub>やH<sub>2</sub>やAr等のガス中においてアニール処理を行う場合もある。次に、分析室7に搬送される。

【0022】例えば、この分析室7において、エリプソメトリ一分光を測定し、そのデータをスペクトル解析装置9においてデータ解析して、膜厚を算出する。次に、電極堆積室8に搬送され、スペッタリング等のPVD(物理気相蒸着法)や、メタル有機ガス中のCVD(化学気相蒸着法)等で堆積ゲート電極膜を堆積する。

【0023】このとき、ゲート前洗浄工程からゲート絶縁膜形成工程と、このゲート絶縁膜形成工程から物理分析工程と、これらの複数の工程間において、一度も大気に暴露することなく、減圧もしくは不活性ガスにより管理されたクラスター内で分析した場合では、この管理された不活性ガス、もしくは、減圧中にウエハが存在するために表面に不要な吸着力ボン等が付着しない。通常、半導体製造装置は、湿度と温度を一定に管理されたクリーンルームの大気中に存在する。

【0024】しかしながら、クリーンルームの大気とはいえ、一旦、大気に出てしまうと吸着力子が表面に存在し、分析結果に大きく影響する。このため、大気の放置時間や状態により、物理膜厚や組成等が影響を受け、所望の膜を形成するときの条件パラメータが見かけ上、変動してしまうこととなる。近年非常に薄い膜で2nm以下のゲート絶縁膜を成膜、管理するため、真値以外の外要因を極力避ける必要がある。

【0025】図3は、本発明の実施の形態の効果について、エリプソメトリ一分光による膜厚の時間依存性を従来例と比較した結果を示す。約1.4nmの酸化膜を熱酸化により成膜後、膜厚測定までの間、クリーンルームの通常の大気に暴露させた場合と、クラスター中の管理された減圧状態に保った場合のエリプソメトリによる分光測定によって求められた酸化膜厚の成膜後の時間依存性を示す。本当は除去すべき外要因による見かけ上の膜厚増加量は明らかに大気に暴露させた方が10倍以上も大きい。大気から遮断され管理された雰囲気のクラスター半導体製造装置において、膜厚分析装置もクラスター化

された管理された雰囲気の中で測定するのが、真値以外の外要因を極力避けることができ、非常に好ましいことが明らかとなった。なお、所望のゲート膜厚を得る事ができなかった場合は、再度、ゲート前洗浄室4にウエハを搬送し、HF等の溶液により再度、形成酸化膜を除去して、膜形成パラメータを所望の膜厚になるように調整した後、再度、膜形成工程に持っていく、確実に所望の酸化膜厚を形成することも可能である。

【0026】分析室7において解析が終了の後、ウエハは電極堆積室8に搬送され、この電極堆積室8において、ポリシリコンやドープしたポリシリコンや、TiNやWN等のメタルゲート電極をPVDやCVDの手法により堆積する。以上の各工程を経ることによって所望のMOS構造が形成される。

【0027】以上のように本実施の形態によれば、クラスター化されて、不活性なガスにより充満されるか、または、真空状態である半導体製造装置において、酸化膜厚測定装置のクラスターを設けることにより、一連のプロセスにおいて膜厚測定を行うことにより成膜条件のフィードバックをかけることが可能なため、所望の膜厚の膜を確実に形成することができると共に、一度装置外部に出す工程を除去することでよりスループットをあげることができると共に、吸着による見かけ上の膜厚増加を低減することができるためより正確な膜厚を測定することができる。

【0028】(第2の実施形態)以下本発明の第2の実施の形態について、図4と図5を参照しながら説明する。図4は本発明の第2の実施の形態について半導体製造装置の分析室7に設置したX線光電子分光装置の略図を示すものである。図4において、予備真空引き室17、真空引きされた筐体18に、X線発生源19と単色X線発生用の回折結晶20とサンプルホルダー21と半円球分析器22とサンプル移動用のマニピュレーター23と帶電中和銃24とスペッタリング用のアルゴン銃25が接続されている。このX線光電子分光装置の筐体18はクラスター半導体装置の筐体1(図1)と、予備真空引き室17を介して接続されており、真空の状態である。

【0029】以上のように構成されたX線光電子分光装置について、以下(図4)及び(図5)を用いてその動作を説明する。

【0030】前述の本発明の第1の実施の形態における半導体MOS構造製造工程については同様のために略記する。このゲート堆積炉6において、ゲート絶縁膜堆積の後、次に分析室7に搬送される。

【0031】分析室7においてX線光電子分光装置が接続されている場合、予備真空引き室17において事前に真空引きされた後、筐体18に搬送され、サンプルホルダー21に設置される。X線発生源19に高電圧が印加され電子衝突によりX線が発生する。そのX線は回折結晶

20により回折され、サンプルホルダー21に設置されたウエハ上に集光される。このX線によるサンプルから光電子が発生し、その光電子は、半円球分析器22によりエネルギー別に分光され各々元素別の光強度が検出される。

【0032】このとき、クラスター内で成膜後、連続的に分析した場合では管理されたガスもしくは減圧中にウエハが存在するために表面に不要な吸着カーボン等が付着しない。仮に、クリーンルームの大気とはいえ、一旦、大気に出してしまうと吸着子が表面に存在し、分析結果に大きく影響する。このため大気の放置時間や状態により、管理パラメータが変動してしまうこととなる。近年非常に薄い膜で2nm以下のゲート絶縁膜を成膜、管理するため、真値以外の外要因を極力避ける必要がある。

【0033】図5は、約1.4nmの酸化膜をクリーンルームの通常の大気に暴露させた場合と、クラスター中の管理された減圧状態に保った場合のX線光電子分光測定によって求められた酸化膜の組成を示す。外要因による見かけ上の組成ずれ量は明らかに大気に暴露させた方が大きい。大気から遮断され管理された雰囲気のクラスター半導体製造装置において、組成分析装置もクラスター化された管理された雰囲気の中で測定するのが、非常に好ましいことが明らかとなった。

【0034】以上のように本実施の形態によれば、洗浄やゲート膜形成や電極形成という一連のプロセス中において、ガスを真空状態または不活性なガスで満たされたクラスタリングした装置内でウエハの組成状態を分析しながら製造工程を管理することにより、大気に出すことにより吸着するカーボンの不純物の影響を受けることがなく、正確に、組成を管理することができる。

【0035】(第3の実施形態)通常Si結晶基板と酸化膜との界面のラフネスを測定する時の例として挙げる。高分解能の断面TEM観察手法では、酸化膜上にポリシリコン等を堆積した後、観察用に数十ナノメートルの薄膜に研磨ミリングをする必要があるので、測定まで数十時間の観察用サンプル作成の時間が要する所要時間の長さという問題点を有していた。また、酸化膜の希フッ酸ケミカルエッチングの工程後にAFM(原子間力顕微鏡)でラフネスを評価する手法では、破壊検査であり完全に界面が保存されているか確認できず、不正確な測定であるという問題点を有していた。

【0036】上記クラスター化された半導体製造装置において、吸着子の外要因を除去でき、かつ、管理された雰囲気内で非破壊で界面のラフネスを測定することが必要となる。

【0037】図6は本発明の第3の実施の形態について界面ラフネス測定の概念図を示すものである。

【0038】XPSにより、Si<sub>2</sub>pスペクトルより、Si基板

(6)

特開2002-270596

9

直上の $\text{Si}^{1+}$ 、 $\text{Si}^{2+}$ 、 $\text{Si}^{3+}$ の各サブオキサイド組成強度を求めることができる。シリコンと酸化膜との界面には、原子オーダーのラフネスが存在し、膜厚方向に酸素の濃度勾配が存在する。各原子層ごとの酸素濃度勾配に対応してサブオキサイドの存在確率が変化する。

【0039】その組成式を各層ごとに積算することによりサブオキサイドの存在量が予想される。界面ラフネスに対する各サブオキサイド組成の強度比曲線を図7に示す。この図7に対して、実測値との誤差を求める。最小の誤差となるラフネスの値が界面ラフネスを求める。第3の実施の形態の測定装置については、上述第2の実施の形態に説明したX線電子分光装置である。この装置を使用して、シリコン酸化膜界面のサブオキサイド量は、 $\text{Si}_2\text{p}$ スペクトルを分光することにより定量化できる。実験的に求めた $\text{Si}_2\text{p}$ スペクトルからのサブオキサイドの実験的量との差を最小二乗法により求めることにより、シリコンと酸化膜との間の界面ラフネスを数十分の測定により、求めることができる。

【0040】以上のように本実施の形態によれば、洗浄やゲート膜形成や電極形成という一連のプロセス中において、ガスを真空状態または不活性なガスで満たされたクラスタリングした装置内でウエハの組成状態を分析しながら製造工程を管理する工程を設けることにより、大気に出すことにより吸着するカーボンの不純物の影響を受けることがなく、非破壊に、界面のラフネスを管理することができる。

【0041】(第4の実施形態) 図8は本発明の第4の実施の形態について分析チャンバーに設置されるX線反射率測定装置の概略図を示すものである。図8において、封入管または回転型X線発生装置26、X線単色化結晶27、入射側スリット28、29と、サンプルホルダー30と、反射側スリット31、32と、X線検出器33が備わっており、X線の光路に対して入射X線がサンプル表面で反射し、その正反射方向がスリット及び、検出器に一致する配置をしている。X線発生装置26で発生されたX線は、X線単色化結晶27により単色化され、入射側スリット28と入射側スリット29により並行化されたX線のみがサンプル表面に入射するようになる。反射光は、反射側スリット31と、反射側スリット32により並行化され散乱X線は除去され、X線検出器33に入射する。サンプルホルダー30の回転に伴って、反射側スリット31と、反射側スリット32とX線検出器33は、サンプルホルダー回転軸を中心円上に回転することができる機構を備えている。

【0042】図9は、約2.5nmの酸化膜をクリーンルームの通常の大気に暴露させた場合と、クラスター中の管理された減圧状態に保った場合のX線反射率測定によって求められた反射率強度を示す。

【0043】外要因による見かけ上の反射強度の減衰は大気に暴露させた方が明らかに激しく、 $2\theta$ が4度程度

10

10

では、一桁も減衰した結果となっている。大気から遮断され管理された雰囲気のクラスター半導体製造装置において、組成分析装置もクラスター化された管理された雰囲気の中で測定するのが非常に好ましいことが明らかとなつた。このような管理された雰囲気での、吸着子のほとんど無い極薄酸化膜を測定することによって、観測結果に外因性のずれを生じさせずに工程管理することが可能となる。上記の反射率曲線を元に算出した酸化膜厚と密度について図10に示す。膜厚と密度分析装置もクラスター化された管理された雰囲気の中で測定するのが適值との誤差は明らかに小さく、非常に好ましいことが明らかとなった。

【0044】以上のように本実施の形態によれば、洗浄やゲート膜形成や電極形成という一連のプロセス中において、ガスを真空状態または不活性なガスで満たされたクラスタリングした装置内でウエハのX線反射率状態を分析しながら製造工程を管理する工程を設けることにより、大気に出すことにより吸着するカーボンの不純物の影響を受けることがなく、正確に、膜厚と組成を管理することができる。

【0045】(第5の実施形態) 本発明の第5の実施の形態は、X線反射率のスリット幅の角度依存性に関するものである。

【0046】X線の反射率は、入射角度の増加に従い減衰する。薄膜を測定し、膜厚を正確に同定するには、高角度まで測定することが必要であるが、強度の減衰が激しいために強度が弱くなりSN比が悪くなり、その結果、算出される膜厚にバラツキを与える要因となる問題がある。

【0047】この問題を解決するために、反射角度に対して反射側のスリット幅を変動させることによって、強度を保ちながらSN比を抑える最適幅を求めた。検出限界が $5 \times 10^{-8}$ 程度である。その検出限界に対して1桁以上の強度がある場合は、反射側のスリット幅は初期のままで良い。目安として検出限界( $1 \times 10^{-7}$ )に対して1桁の強度になると( $2\theta = 5.5$ 度程度)、その高角度側の範囲内で、スリット幅を広げることが最適である。通常基板に他の膜が堆積された場合基板が湾曲しそのため、上に凸のサンプルの場合には反射X線が広がり、上に凹のサンプルの場合には反射X線が狭まる。これらを考慮し最適化した、その結果を図11に示す。図11において示した最適な反射スリット幅の変化に示す様に、検出限界強度の約1桁ほど強い強度を示す角度からスリット幅を広げ強度を増す。 $2\theta$ に対してステップ形状にスリット幅を増やすような形状も実施可能である。SN比の改善前と改善後の結果を図12に示す。明らかに本発明の改善を行うことにより、膜厚や密度を求めるに当たり重要な高い角度におけるSN比を改善することができ、精度良く反射率を測定することができる。

【0048】以上のように本実施の形態によれば、X線

入射角度が高い場合、スリット幅を広げる装置を設けることにより、S/N比が良く、高い角度まで精度良く反射率を測定することができ、正確に膜厚や組成を求めることができる。

【0049】(第6の実施形態)図13は、本発明の第6の実施の形態についてX線反射率の可動式スリット概略図を示すものである。図13において、可動式スリット34、35、36、37は、可動用スリット溝38、39に設置され、可動用アクチュエーター40、41、42、43と接続されている。

【0050】以上のように構成されたX線反射率の可動式スリットについて、その動作を説明する。

【0051】検出角度が高い角度になると、可動用アクチュエーターにより並行に走る複数本の溝状の可動式スリットを、所望のスリット幅に調整する。所望のスリット幅に関しては、第6の実施形態に記載している。尚、可動用スリット溝38、39及び、可動式スリット34、35、36、37は、X線進行方向44に対して2枚の場合を示したが、单数枚及び、複数枚ある場合でも可能である。尚、可動式ではなく、規定のスリット幅を持ったスリットを交換式にしてスリット幅を変更する場合も可能である。尚、本発明の可動式スリットは、X線入射側と反射側のスリット両方に使用可能である。

【0052】以上のように本実施の形態によれば、可動式アクチュエーターに接続されたX線スリットを設けることにより、既存の装置では測定を一度中断しスリット幅を変えなければならなく測定時間のロスが生じていたが、入射角度に対して連続的にかつ制御しながら、S/N比の良いX線反射率測定をすることができる。

### 【0053】

【発明の効果】以上のように本発明は、複数の処理室と、この複数の処理室を含む空間を大気から遮断した雰囲気に維持するように取り囲む共通容器と、上記共通容器内でウエハを搬送するための搬送手段と、上記共通容器内のいずれかの部位に、ウエハを設置した状態で、ウエハ表面を物理分析評価するための手段を備えた構成のクラスタリングされた装置を設けることにより、成膜条件のフィードバックをかけることを可能にし所望の膜厚の膜を確実に形成することができると共に、一度装置外部に出す工程を除去することでよりスループットをあげることができると共に、吸着による見かけ上の膜厚増加を低減することができるためより正確な膜厚、密度を測定することができる。

### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態におけるクラスタリングされた半導体製造装置の構成の模式図

【図2】従来のクラスタリングされた製造装置の概略図

【図3】本発明の第1の実施の形態におけるエリプソメトリー分光による膜厚の時間依存性を従来例と比較した結果を示す図

【図4】本発明の第2の実施の形態における半導体製造装置の分析室にX線光電子分光装置を設置した略図

【図5】本発明の第2の実施の形態におけるX線光電子分光により求めた組成を従来例と比較した結果を示す図

【図6】本発明の第3の実施の形態における界面ラフネス測定の概念図

【図7】本発明の第3の実施の形態における界面ラフネスに対する各サブオキサイド組成の強度比曲線図

【図8】本発明の第4の実施の形態におけるX線反射率測定装置の概略図

【図9】本発明の第4の実施の形態におけるX線反射率強度を従来例と比較した結果を示す図

【図10】本発明の第4の実施の形態における密度と膜厚を従来例と比較した結果を示す図

【図11】本発明の第5の実施の形態における反射スリットの入射角度に対する変化曲線図

【図12】本発明の第5の実施の形態におけるノイズ強度の改善例を示す図

【図13】本発明の第6の実施の形態におけるX線反射率の可動式スリット概略図

### 【符号の説明】

1 箔体

2 ウエハ搬送用アームロボット

3 サンプル導入用のイントロ室

4 ゲート前洗浄室

5 ゲート酸化炉

6 ゲート堆積炉

7 物理分析室

8 ゲート電極堆積室

9 スペクトル解析装置

10 ロードロックチャンバーモジュール

11 移動モジュール

12 ドライ洗浄モジュール

13、14、15 蒸着モジュール

16 ロボットアーム

17 予備真空引き室

18 箔体

19 X線発生源

20 回折結晶

21 サンプルホルダー

22 半円球分析器

23 マニピュレーター

24 帯電中和銃

25 アルゴン銃

26 X線発生装置

27 X線単色化結晶

28、29 入射側スリット

30 回転式サンプルホルダー

31、32 反射側スリット

33 X線検出器

(8)

特開2002-270596

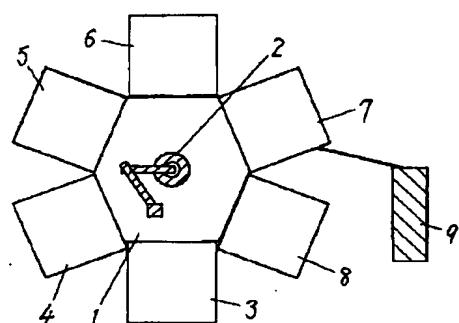
13

14

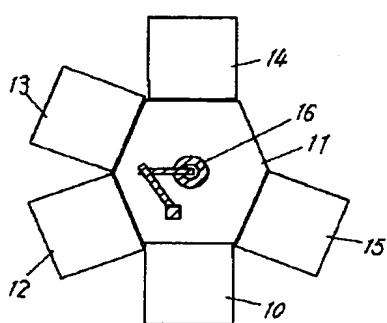
34、35、36、37 可動式スリット  
38、39 スリット溝

40、41、42、43 可動用アクチュエーター  
44 X線進行方向

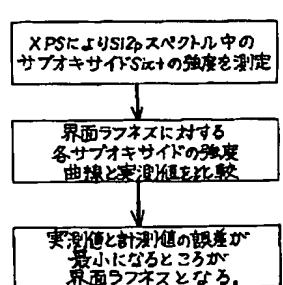
【図1】



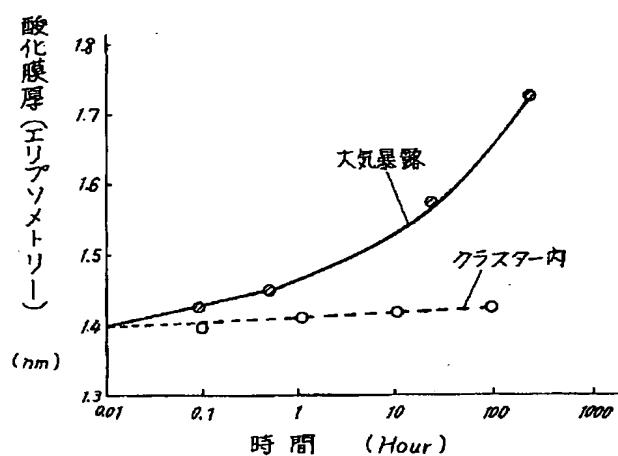
【図2】



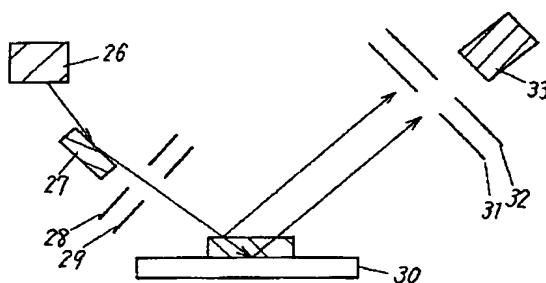
【図6】



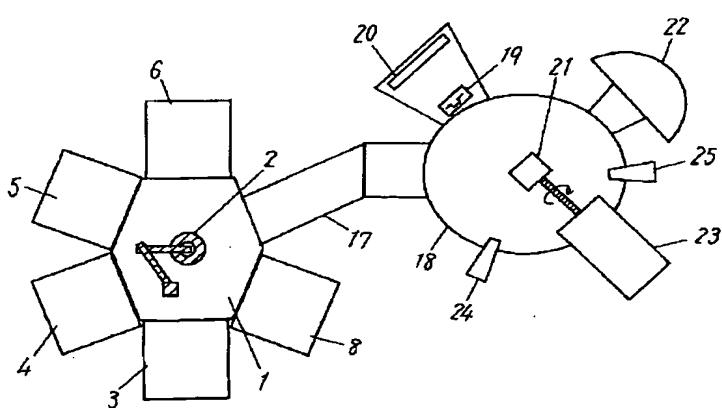
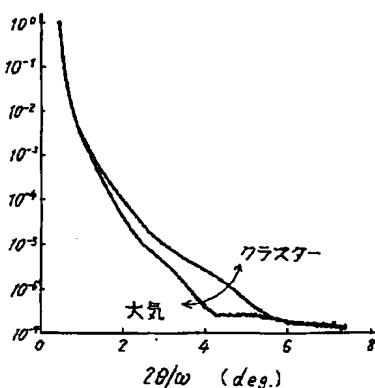
【図3】



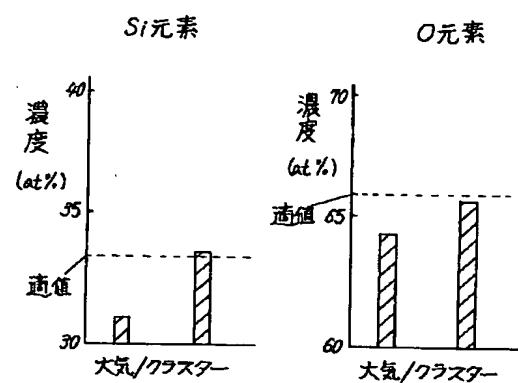
【図8】



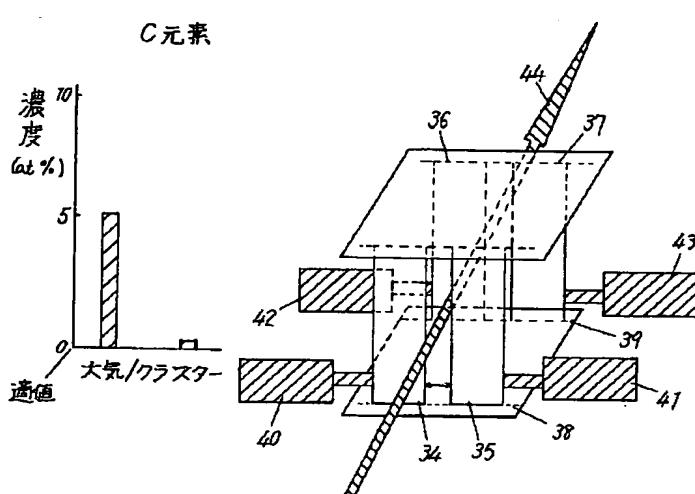
【図4】

Reflectivity  
(a.u.)

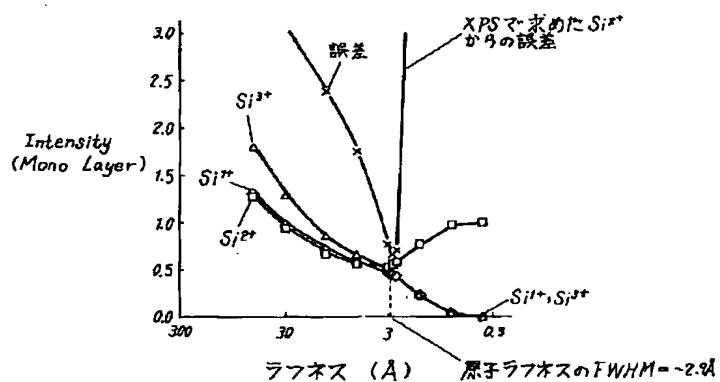
【図5】



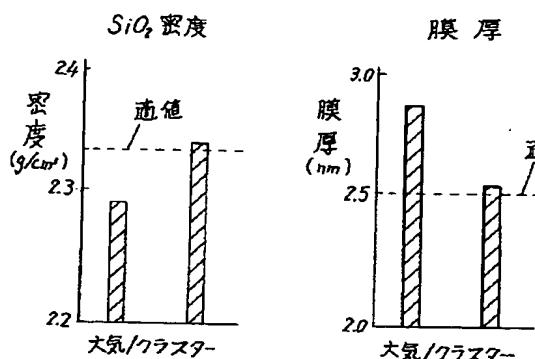
【図13】



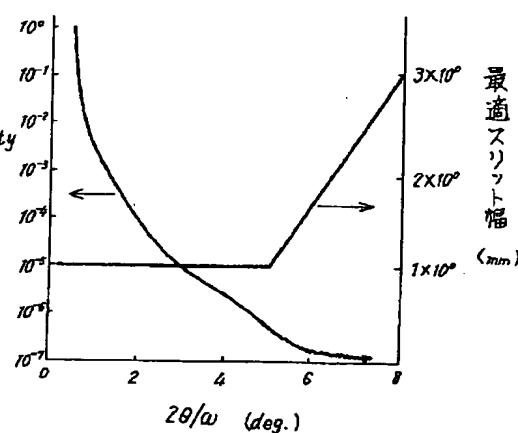
【図7】



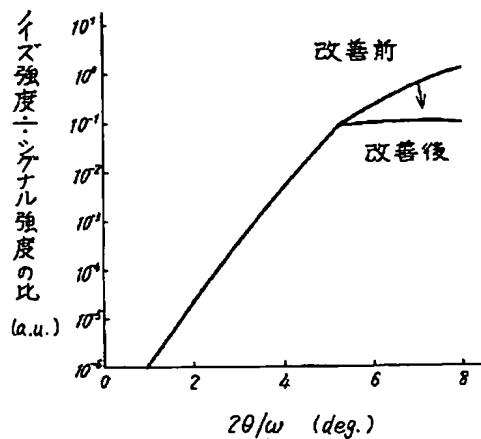
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 松永 利之

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

F ターム(参考) 4K029 AA06 AA24 BD01 EA01 KA09  
 4K030 CA04 CA12 JA01 KA28 KA39  
 4M106 AA01 AA13 AB02 BA04 BA20  
 CA48 CA51 CA70 DG05 DH03  
 DH08 DH25 DH34  
 5F045 AB32 AB33 AC11 AC12 AC15  
 AF03 CA05 GB11 GB13 HA25